

**PENGARUH WAKTU REAKSI DAN KONSENTRASI KATALIS
TERHADAP PROSES TRANSESTERIFIKASI DALAM PEMBUATAN
BIODIESEL DARI JELANTAH DENGAN KATALIS ABU LAYANG
BATUBARA**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik**

Oleh :

DIAH AYU NAUROTUNJANNAH AMBAROH

D 500 150 029

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH WAKTU REAKSI DAN KONSENTRASI KATALIS
TERHADAP PROSES TRANSESTERIFIKASI DALAM PEMBUATAN
BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN KATALIS ABU
LAYANG BATU BARA**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

DIAH AYU NAUROTUNJANNAH AMBAROH

D 500 150 029

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D

NIDN. 060110681

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH WAKTU REAKSI DAN KONSENTRASI KATALIS TERHADAP PROSES TRANSESTERIFIKASI DALAM PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN KATALIS ABU LAYANG BATU BARA

Oleh:

DIAH AYU NAUROTUNJANNAH AMBAROH

D 500 150 029

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Kamis, 4 Juli 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D**
(Ketua Dewan Penguji)
- 2. M. Mujiburohman, S.T., M.T., Ph.D.**
(Anggota I Dewan Penguji)
- 3. Emi Erawati, S.T., M.Eng.**
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)



Dekan,

Ir. H. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah dituliskan atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 2 Juli 2019

Penulis



Diah Ayu Naurotunjannah Ambaroh

D500150029

PENGARUH WAKTU REAKSI DAN KONSENTRASI KATALIS TERHADAP PROSES TRANSESTERIFIKASI DALAM PEMBUATAN BIODIESEL DARI JELANTAH DENGAN KATALIS ABU LAYANG BATUBARA

Abstrak

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan kebutuhan utama bagi seluruh masyarakat Indonesia. Sekarang ini penggunaan bahan bakar minyak semakin meningkat. Untuk mengatasi hal tersebut maka BBM yang berasal dari fosil harus dikurangi penggunaannya dan kemudian perlu dikembangkan energi alternatif terbarukan, salah satunya adalah bahan bakar nabati seperti biodiesel. Minyak jelantah berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber energi sehingga dapat mengurangi potensi pencemaran pada lingkungan. Metode transesterifikasi dipilih karena prosesnya yang cukup sederhana yaitu dengan mereaksikan trigliserida dengan alkohol membentuk metil ester asam lemak (FAME) dan gliserol sebagai produk samping. Dalam proses transesterifikasi umumnya dilakukan dengan penambahan katalis. Abu layang batubara (*fly ash*) berpotensi untuk digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel karena tersusun dari beberapa oksida berpori, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO dan CaO . Minyak jelantah ditambah metanol dengan rasio molar minyak:metanol 1:9 dan katalis (3,4, dan 5% b/b minyak), dipanaskan sampai temperatur 60°C , kemudian diaduk selama waktu reaksi (60, 90, dan 120 menit) dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Menghasilkan biodiesel dengan densitas 0,845-0,875 g/cm^3 (range SNI 0,85-0,90 g/cm^3) dan *yield* 24,21% pada variasi waktu 120 menit dan berat katalis 5%. Analisis terhadap komponen dan komposisi biodiesel menggunakan GC-MS, karakter abu layang batu bara menggunakan metode XRD (*X-ray diffraction*) dan BET SAA (*Brunaur, Emmett and Teller Surface Area Analyzer*). Pada hasil uji GC-MS kandungan yang metil ester dominan adalah metil oleat 48,86%, dan hasil uji XRD katalis abu layang batu bara memiliki komponen $\text{Al}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{Si}_2$ 61,1%; AlO_4P 20,5% dan Si O_2 18,4%, sedangkan hasil uji BET SAA katalis abu layang batubara memiliki luas permukaan 104,106 m^2/g .

Kata Kunci: Abu layang batubara, biodiesel, minyak jelantah, transesterifikasi

Abstract

Fuel oil (BBM) is a major requirement for all Indonesian people. Now the use of fuel oil is increasing, to overcome this, the fuel derived from fossils must be reduced in use and then need to develop renewable alternative energy, one of which is vegetable fuel such as biodiesel. Waste cooking oil has the potential to be used as a source of energy so that it can reduce the potential for pollution in the environment. The transesterification method was chosen because the process is quite simple, namely by reacting triglycerides with alcohol to form fatty acid methyl esters (FAME) and glycerol as a by-product. In the transesterification process, it is generally carried out by adding a catalyst. Coal fly ash (*fly ash*) has the potential to be used as a catalyst in making biodiesel because it is composed of

several porous oxides, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO and CaO . This study aims to examine the effect of reaction time (60, 90 and 120 minutes) and the weight of the catalyst (3,4 and 5% b/b oil) on the biodiesel produced. The application of the transesterification method with dependent variables of temperature of 60°C , stirring speed of 400 rpm, and a molar ratio of oil: methanol 1: 9. Produced biodiesel with a density of $0.845\text{-}0.875\text{ g/cm}^3$ (Indonesia National Standard SNI in the range of $0.85\text{-}0.90\text{ g/cm}^3$) and a yield 24.21% for the reaction time of 120 minutes and catalyst weight of 5%. Then the components and composition of biodiesel were analyzed using GC-MS and the characteristics of fly ash using XRD (X-ray diffraction) and SAA BET (Brunaur, Emmett and Teller Surface Area Analyzer) methods. In the GC-MS test results, the dominant composition of methyl ester was methyl oleate 48.86%, and the XRD test results of coal fly ash catalysts had $\text{Al}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{Si}_2$ component 61.1%; 20.5% AlO_4P and 18.4% SiO_2 , while SAA BET test results of coal fly ash catalyst had surface area of $104.106\text{ m}^2/\text{g}$.

Key word: Coal fly ash, biodiesel, waste cooking oil, trasesterification

1. PENDAHULUAN

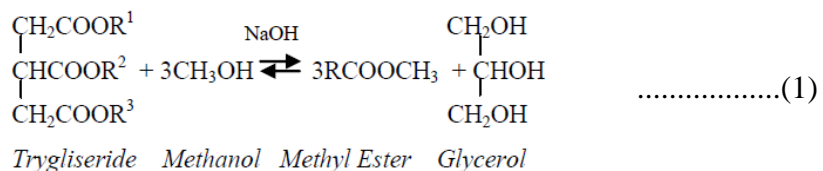
Bahan bakar minyak (BBM) merupakan kebutuhan energi global terbesar yang konsumsinya diperkirakan oleh Energy Information Administration (bagian Departemen Energi AS) akan meningkat 57% dari tahun 2002 hingga 2025. Di sisi lain, cadangan minyak sumber BBM semakin berkurang. Ketergantungan konsumsi BBM di Indonesia yang besar memerlukan solusi. Salah satu solusinya adalah dengan energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan akan penggunaan BBM dari bahan baku fosil. Energi alternatif yang dapat dibuat adalah biodiesel yang merupakan bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau lemak hewan.

Biodiesel merupakan salah satu energi terbarukan jenis bahan bakar nabati (BBN) yang dapat BBM jenis minyak solar tanpa memerlukan modifikasi pada mesin dan menghasilkan emisi yang lebih bersih. Biodiesel secara umum dihasilkan melalui proses transesterifikasi minyak tumbuhan atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek (umumnya metanol) dengan adanya katalis (Buchori, dkk. 2015) . Biodiesel memiliki oksigen yang lebih tinggi dari pada solar dan penggunaannya dalam mesin diesel telah menunjukkan pengurangan yang cukup dalam emisi partikulat, karbon monoksida, sulfur, poliaromatik, hidrokarbon, asap dan kebisingan. Selain itu, hasil pembakaran bahan bakar berbasis minyak nabati tidak berpotensi untuk

meningkatkan CO₂ di atmosfer karena terbuat dari bahan pertanian yang dihasilkan melalui fiksasi karbon fotosintesis (Gashaw dan Lakachew, 2014).

Minyak goreng bekas (UCO) memiliki potensi yang cukup untuk bahan bakar mesin pengapian kompresi. Viskositas kinematik dari UCO sekitar 10 kali lebih besar, dan itu kepadatan sekitar 10% lebih tinggi dari diesel mineral. Properti ini memainkan peran penting dalam pembakaran; karena itu ini harus dimodifikasi sebelum penggunaan UCO dalam mesin. Banyak teknik telah dikembangkan untuk mengurangi viskositas kinematik dan gravitasi spesifik sayuran minyak, yang meliputi pirolisis, emulsifikasi, bersandar dan transesterifikasi (Gashaw dan Teshita, 2014).

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida dengan alkohol membentuk metil ester asam lemak (FAME) dan gliserol sebagai produk samping. Persamaan umum reaksi transesterifikasi ditunjukkan di bawah ini (Faizal, dkk, 2013). Proses transesterifikasi berfungsi untuk mengurangi viskositas dalam biodiesel. Proses transesterifikasi bisa langsung jika FFA kurang dari 2% (Abdullah, dkk 2013). Persamaan umum reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut (Nduwayezu, dkk, 2015):



Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan proses transesterifikasi ini dapat dilakukan dengan penambahan katalis. Katalis yang digunakan ada katalis heterogen dan katalis homogen. Abu layang batu bara (*coal fly ash*) adalah salah satu meterial yang memiliki komposisi 30-60% SiO₂, 10-20% Al₂O₃, 5-10 % Fe₂O₃, 5-10% MgO dan 2-4 % CaO dengan kandungan silika dan alumina silika yang tinggi. Dengan suatu reaksi kimia dapat dijadikan sebagai zeolit. Abu layang adalah suatu material yang efektif jika digunakan sebagai bahan baku pembuatan zeolit, dan dapat digunakan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi (Bhandari, dkk, 2015). Untuk meningkatkan kemampuan katalitik abu layang diperlukan impregnasi senyawa logam sehingga kebiasaannya meningkat. Na₂O (natrium oksida) merupakan sumber sisi basa yang kuat untuk dimanfaatkan pada

reaksi transesterifikasi. Logam alkali Na memiliki kebiasaan yang cukup tinggi sehingga pemanfaatannya sebagai sisi aktif pada sebuah pengemban akan menghasilkan kemampuan katalitik yang lebih baik dibandingkan penggunaan Na sebagai katalis homogen (Fery dkk, 2011)

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji efek waktu reaksi 60-120 menit serta berat katalis 3-5% b/b minyak untuk digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah.

2. METODE

Sebelum abu layang batubara digunakan sebagai katalis, perlu dilakukan preparasi terhadap abu layang batubara agar kinerjanya sebagai katalis bisa lebih optimal dalam membantu pembentukan reaksi pembuatan biodiesel. Preparasi yang dilakukan ada 2 tahap, yaitu netralisasi dan alkali fusi. Netralisasi yang dilakukan adalah netralisasi pH dengan menambahkan H_2SO_4 . Dengan dilakukannya netralisasi akan membuat pH abu layang menjadi netral serta menghilangkan sebagian impuritas yang dapat mengganggu reaksi. Selanjutnya dilakukan alkali fusi dengan NaOH dengan suhu $700^{\circ}C$ selama 4 jam. Alkali fusi dilakukan untuk meningkatkan kemampuan katalitik abu layang batubara sehingga kebiasaannya meningkat.

Selanjutnya proses reaksi transesterifikasi untuk membuat biodiesel dari minyak yang disiapkan dengan menggunakan katalis yang telah dipreparasi sebelumnya. Metode transesterifikasi dengan menggunakan metanol sebagai larutan tambahan untuk pembentukan metil ester. Metanol yang digunakan mengikuti perbandingan minyak dan metanol 1:9. Kemudian katalis yang digunakan sebanyak 3, 4, dan 5% dari berat minyak yang digunakan. Metanol dan katalis dicampurkan pada gelas beker kemudian dipanaskan sampai suhunya $60^{\circ}C$, dan minyak dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan dipanaskan hingga suhu $60^{\circ}C$. Setelah suhu mencapai $60^{\circ}C$ campuran metanol dan katalis ditambahkan. Transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat labu leher tiga, kondensor dan pemanas berstirer. Reaksi dilakukan selama 60, 90 dan 120 menit dengan kecepatan pengadukan 400 rpm dan suhu dijaga pada $60^{\circ}C$.

Setelahnya dilakukan tahap filtrasi memisahkan larutan hasil transesterifikasi dengan gliserol menggunakan corong pemisah dan didiamkan hingga larutan membentuk dua lapisan. Lapisan atas yang bening merupakan metil ester yang terbentuk, sedangkan lapisan bawah merupakan gliserol.

Setelah didapatkan biodiesel, kemudian dilakukan analisis densitasnya dengan menggunakan piknometer dan untuk analisis komponen serta komposisi biodiesel menggunakan *Gas Cromatografy Mass Spectrometry* (GC-MS). Untuk mengetahui karakter katalis abu layang dianalisis dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Brunaur, Emmett and Teller Surface Area Analyzer* (BET SAA). Hasil XRD kemudian dianalisis kembali dengan menggunakan aplikasi Match 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

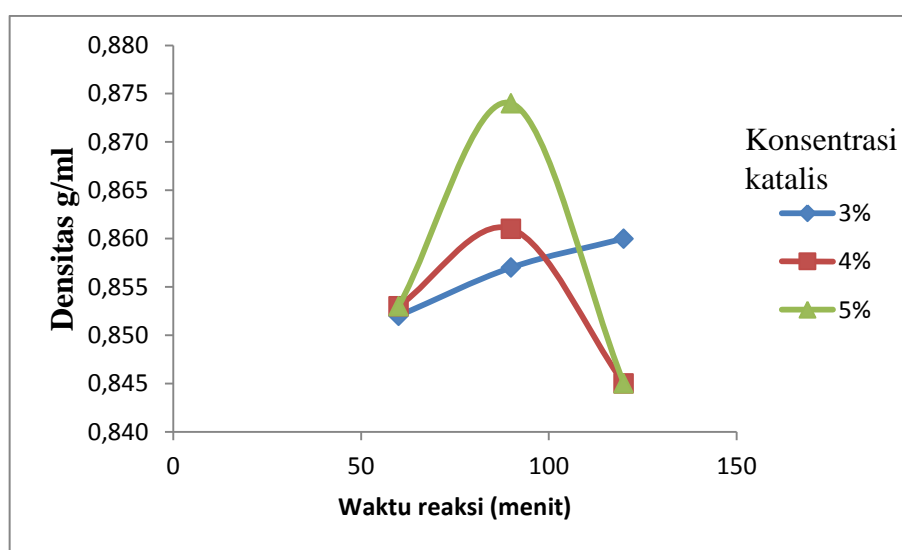
Bahan baku minyak jelantah yang digunakan untuk pembuatan biodiesel sebelumnya telah diuji kadar FFA dalam minyak, diperoleh hasil dari uji tersebut menunjukkan bahwa minyak jelantah memiliki kadar FFA 0,84%. Dengan uji tersebut maka minyak jarak dapat diproses menjadi biodiesel dengan metode transesterifikasi. Pengaruh konsentrasi katalis abu layang batu bara dan waktu reaksi terhadap rendemen biodisel dari minyak jelantah ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rendemen biodiesel dengan masing-masing variasi.

Waktu (menit)	Jumlah katalis (% b/b minyak)		
	3	4	5
60	18,75	7,69	13,09
90	15,43	20,10	16,89
120	16,62	15,77	24,21

Dari hasil perhitungan % rendemen yang dilakukan menunjukkan % rendemen yang diperoleh tidak terlalu besar. Kecepatan pengadukan yang rendah dapat mengakibatkan peluang kontak bahan akan semakin kecil, sehingga yield biodiesel yang dihasilkan lebih sedikit. Pada waktu reaksi 120 menit dengan jumlah katalis 3 dan 4% rendemen biodiesel mengalami penurunan hal ini

disebabkan karena pada waktu yang terlalu lama. Jika waktu reaksi terlalu lama, sisa asam lemak bebas yang tidak ikut bereaksi pada proses transesterifikasi akan membentuk sabun. Adanya sabun pada reaksi transesterifikasi akan menghambat pembentukan metil ester, sehingga hasil yang diperoleh tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan. Patibong dan Pasaribu (2014) telah melakukan penelitian menggunakan bahan baku minyak jelantah dan abu batang pisang sebagai katalis menghasilkan 76,8% rendemen biodiesel pada kondisi operasi suhu 55°C selama 2 jam dengan variasi katalis 8% b/b minyak jelantah. Hasil pembuatan biodiesel dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kondisi operasi, lama waktu transesterifikasi, jumlah katalis yang digunakan, dan kecepatan pengadukan. Dari penelitian yang telah dilakukan perbedaan jumlah katalis yang lebih besar dan waktu reaksi yang lebih lama memberikan hasil rendemen biodiesel yang cenderung lebih besar.. Hasil uji densitas biodiesel dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

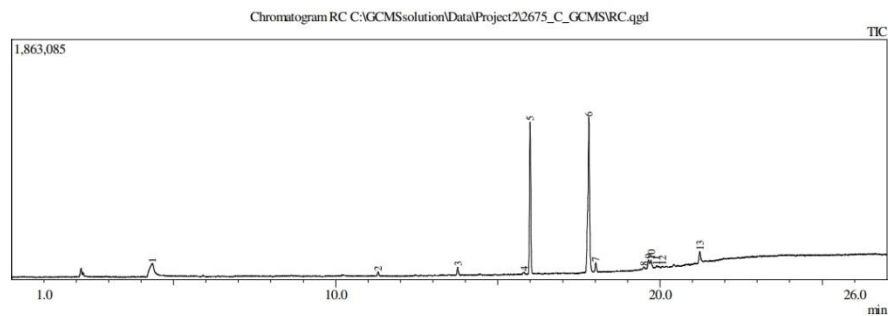


Gambar 1. Grafik hubungan antara waktu reaksi terhadap densitas biodiesel.

Densitas biodiesel yang dihasilkan masih berada di *range* Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 yang mensyaratkan densitas biodiesel berada pada

0,85-0,90 g/cm³. Oleh karena itu, dari spesifikasi biodiesel yang dihasilkan sudah memenuhi SNI.

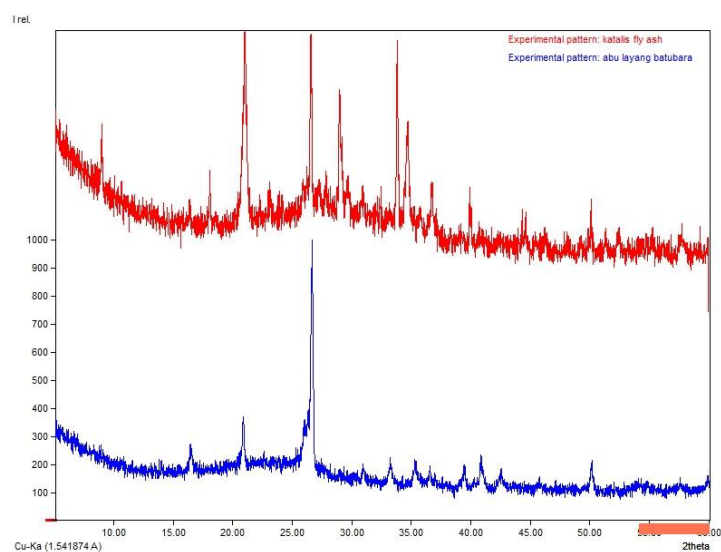
Untuk mengetahui komposisi kandungan biodiesel digunakan uji GC-MS, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil uji GC-MS biodiesel.

Hasil uji GC-MS pada sampel biodiesel dalam Gambar 2 menunjukkan bahwa ada 12 puncak yang terdeteksi oleh alat. Kandungan metil ester yang dominan adalah metil oleat sebesar 48,86% dan metil palmitat 33,86%.

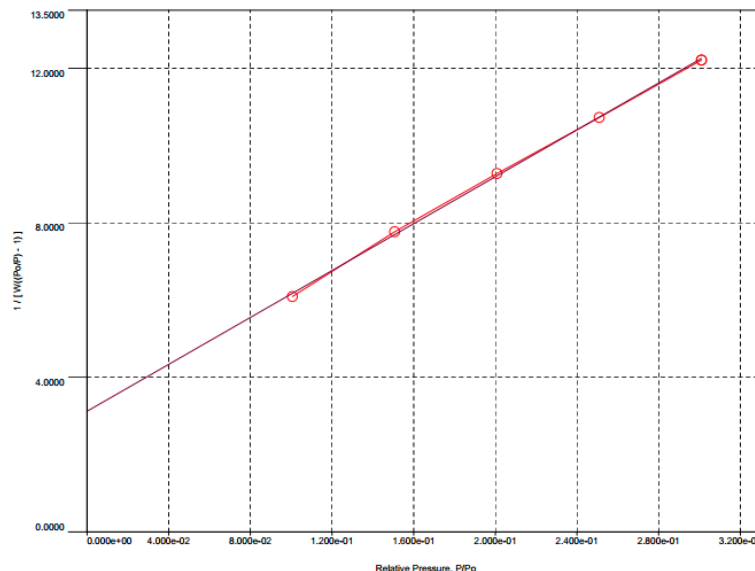
Faktor lain yang dapat menyebabkan % rendemen biodiesel yang dihasilkan adalah jenis katalis yang digunakan. Untuk mengetahui karakteristik katalis abu layang batu bara, dilakukan uji XRD, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa telah berhasil diaktivasi selama preparasi.



Gambar 3. Grafik hasil uji XRD abu layang batubara dan katalis *fly ash*.

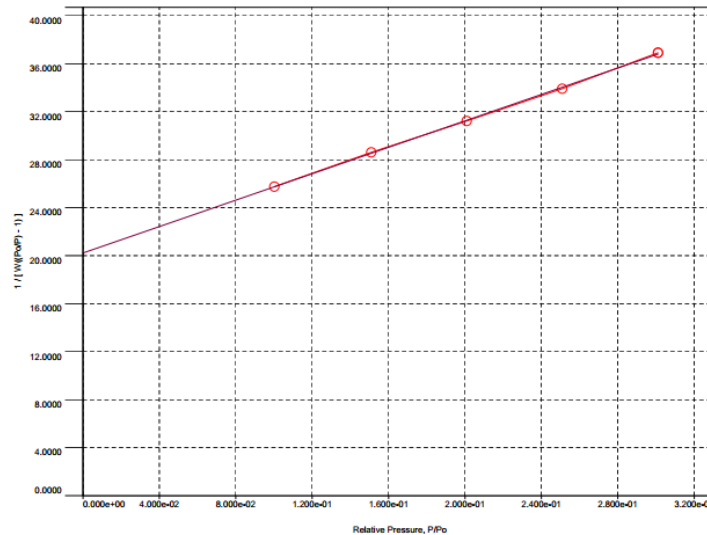
Hasil uji XRD abu layang batubara menunjukkan bahwa kandungan Si dan Al yang terdapat dalam bahan baku dapat dijadikan sebagai sumber silika dalam pembentukan katalis. Kemudian hasil uji XRD katalis dari laboratorium dianalisis menggunakan aplikasi Match 3. Dari Gambar 3 terlihat hasil uji XRD abu layang batubara sebelum dipreparasi terdapat puncak pada 26,72 dan terdeteksi keberadaan senyawa AlO_4P 45,9%; $\text{Al}_2\text{O}_5\text{Si}$ 38,6% dan $(\text{MgAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})_6$ 15,5%. Sedangkan untuk hasil uji XRD katalis abu layang batubara setelah dipreparasi dapat terlihat bahwa terdapat puncak pada 21,02 dengan terdeteksi keberadaan senyawa $\text{Al}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{Si}_2$ 61,1%; AlO_4P 20,5% dan Si O_2 18,4%. Dari kedua hasil uji XRD dapat dibuktikan bahwa ada penambahan kandungan Si dan Al setelah dilakukan alkali fusi pada abu layang batubara.

Selain dilakukan uji XRD pada abu layang batubara juga dilakukan uji BET SAA sebelum dan setelah preparasi. Analisis BET (SAA) merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material yang digunakan untuk mengetahui luas permukaan material, distribusi pori dari material, dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu bahan. Hasil uji BET pada abu layang batubara dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Grafik hasil uji BET pada katalis abu layang batu bara (setelah preparasi).

Berdasarkan pada Gambar 4 didapatkan 5 titik dengan persamaan regresi $Y = 30,330x + 3,122$ dengan $R^2 = 0,999599$. Dari hasil diperoleh luas permukaan abu layang batubara setelah preparasi sebesar $104,106 \text{ m}^2/\text{g}$.



Gambar 5. Grafik hasil uji BET pada abu layang batu bara (sebelum preparasi).

Berdasarkan pada gambar 5 didapatkan 5 titik dengan persamaan regresi $Y = 55,071x + 2,022$ dengan $R^2 = 0,999745$. Dari hasil diperoleh luas permukaan abu layang batubara sebelum preparasi sebesar $46,252 \text{ m}^2/\text{g}$. Dari Gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa ada peningkatan luas permukaan pada abu layang batubara sebelum dan sesudah preparasi semula $46,252 \text{ m}^2/\text{g}$ menjadi $104,106 \text{ m}^2/\text{g}$. Proses aktivasi zeolit dengan kalsinasi menyebabkan pelepasan air sehingga luas permukaan pori-pori zeolit bertambah yang dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Data tersebut kemudian dibandingkan pada beberapa penelitian yang dilakukan dengan menggunakan katalis lain, pada penelitian terdahulu: Roesyadi dkk (2010) melakukan penelitian pada katalis zeolit alam, dan menghasilkan luas permukaan sebesar $172,92 \text{ m}^2/\text{g}$. Dengan luas permukaan katalis yang kecil, aktivasi katalis juga kecil.

4. PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa minyak jarak jelantah dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Abu layang batubara dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel

dengan proses transesterifikasi. Dibuktikan dengan bertambahnya kandungan Si dan Al dalam uji XRD setelah dipreparasi. Lama waktu reaksi dan berat katalis mempengaruhi hasil % rendemen biodiesel yang dihasilkan. Hasil % rendemen terbaik diperoleh pada variasi jumlah katalis 5% dari berat minyak dan waktu reaksi 120 menit sebesar 24,21%, dengan kandungan metil palmitat 33,86% dan metil oleat 48,86%, nilai densitas sebesar 0,86g/mL.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. H., Hasan, S. H., dan Yusoff, N. R. M. (2013). Biodiesel Production Based on Waste Cooking Oil (WCO). *International Journal of Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.12720/ijmse.1.2.94-99>
- Bhandari, R., Volli, V., dan Purkait, M. K. (2015). Preparation and characterization of fly ash based mesoporous catalyst for transesterification of soybean oil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(2), 906–914. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.04.008>
- Buchori, L., Istadi, I., dan Purwanto, D. P. (2015). *Perkembangan Proses Produksi Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Alternatif*.
- Faizal, M., Maftuchah, U., dan Auriyani, W. A. (2013). Pengaruh Kadar Metanol, Jumlah Katalis, Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Lemak Sapi Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(4), 29–37.
- Fery, Jhon, Tua, Marihot, Helwani, Zuchra, Saputra dan Edy. (2011). *Penggunaan Na₂O / Fly Ash sebagai Katalis pada Tahap Transesterifikasi Minyak Sawit Off-grade Menjadi Biodiesel*. 1–8.
- Gashaw, A., dan Lakachew, A. (2014.). *Production Of Biodiesel From Non Edible Oil And Its Properties*.
- Gashaw, A., dan Teshita, A. (2014). Alemayehu Gashaw, Abile Teshita. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 3(5), 92–98. <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20140305.12>
- Nduwayezu, J. B., Ishimwe, T., Niyibiz, A., dan Munyentwali, A. (2015). Biodiesel production from unrefined palm oil on pilot plant scale. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 4(1), 11–21.

<https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20150401.13>

Patibong, O., dan Pasaribu, S. P. (2014). *Pemanfaatan abu batang pisang* (. 7(2).

Roesyadi, A., Muhammad Rachimoellah, dan, & Arief Rahman Hakim Kampus Sukolilo Surabaya, J. (2010). Pengaruh Waktu Dealuminasi Dan Jenis Sumber Zeolit Alam Terhadap Kinerja H-Zeolit Untuk Proses Dehidrasi Etanol Widayat 1*). *Interface*, 13(1), 51–57.